第九章　恆星之誕生

9.1　星雲

- 銀河系中的星際物質 (Interstellar medium) 主要是密度非常低的氫 (Hydrogen)，其密度可低至每立方厘米只有幾個粒子。
- 星雲 (Nebula) 是高密度的星際物質，由氣體與塵埃構成的雲狀天體。星雲主要分為三類：
  - 發射星雲 (Emission nebula) 是一些被電離的氫氣，主要是被附近熱恆星發出的紫外線輻射電離。這些星雲發出紅色的光，溫度相對來說較高，密度則較低
  - 反射星雲 (Reflection nebula)內的塵埃反射其他恆星發出的光，星雲本身並不發光
  - 黑暗星雲 (Dark nebula) 是高密度、低溫的氣體雲，本身不發光，卻阻擋了其他恆星發出的光線
- 巨型分子雲 (Giant molecular cloud) 是一些非常龐大的星雲，可橫跨一千光年以上，質量可達五十萬太陽質量，平均密度較高 (每立方厘米約有百萬顆粒子)，黑暗處的溫度極低 (~10K)。巨型分子雲內有不同的區域：
  - 有溫度較高，受年輕熱恆星激發的明亮發射星雲
  - 有正在收縮而非常細小黑暗星雲，很可能是正在誕生的恆星。很多這類天體會發射紅外線，可以利用紅外線望遠鏡觀測

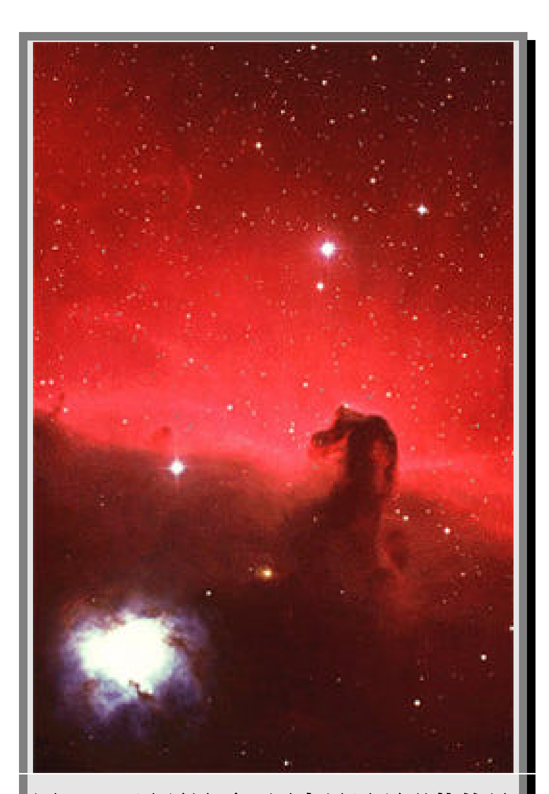


圖 9-1　馬頭星雲。圖中呈馬頭形狀的是黑暗星雲。注意黑暗星雲背後發紅光的發射星雲，與及在明亮恆星附近藍白色的反射星雲。

9.2　恆星的誕生

- 星雲內的物質因萬有引力 (gravitational force) 而互相吸引，傾向於使星雲收縮，形成恆星。星雲密度越高，代表物質之間距離越小，引力也越強，較易於使星雲收縮。

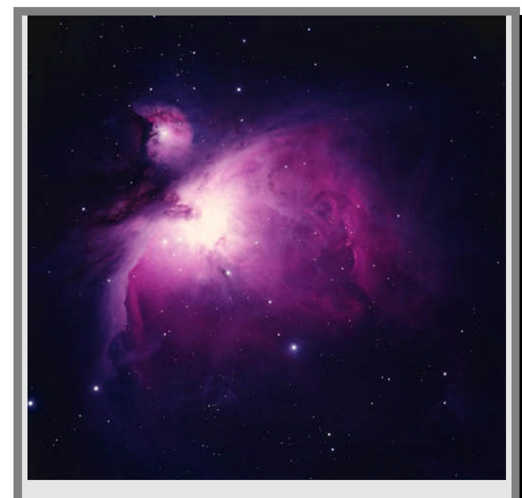


圖 9-2　著名的獵戶座大星雲 M42 是一個活躍的恆星誕生場所。

- **有很多種力量抗拒星雲收縮：**
  - **當星雲收縮時，氣體溫度上升，星雲內的粒子無規則地運動，形成氣體壓力，抗拒收縮。這是星雲不能收縮的主因**
  - **星雲轉動產生離心力，與及星雲磁場等因素，亦會妨礙星雲收縮**
- **根據觀測，大部份星雲的密度不夠高，不能單靠本身的萬有引力收縮成恆星，需要外來的助力。**
- **外來的助力產生衝擊波** (Shock wave)**，能觸發星雲分裂成小塊，部份星雲小塊被壓縮至足以形成新恆星的密度。衝擊波可能來自：**
  - **附近的超新星** (Supernova)**，這是巨大恆星在演化末期產生的巨大爆炸** (**圖** 9-4)
  - **兩個星系互相碰撞，星系物質的引力使對方的星雲受壓力** (**圖** 9-5)
  - **附近的年輕高溫恆星發出大量輻射，產生輻射壓力** (**圖** 9-6)
  - **銀河系旋臂內氣體雲大規模運動，使星雲互相碰撞，亦可產生衝擊波** (**圖** 9-7)

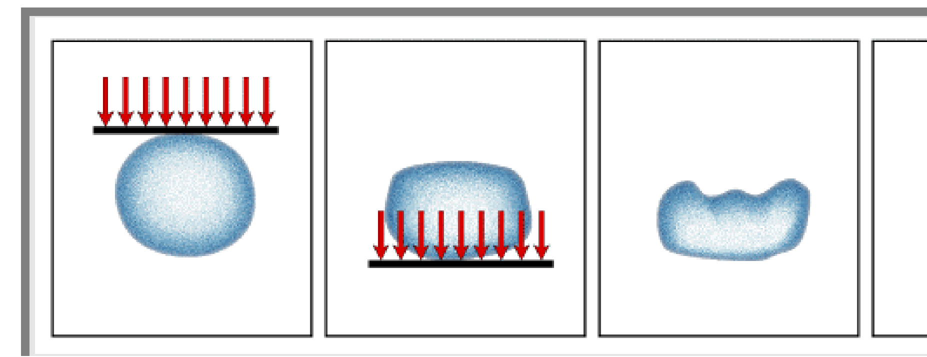


圖 9-3 由於氣體星雲的密度太低，故不大可能在沒有外來助力的環境下形成恆星。上圖顯示的星雲在外來衝擊波壓縮下分裂，部份區域因密度增加而足以形成恆星。

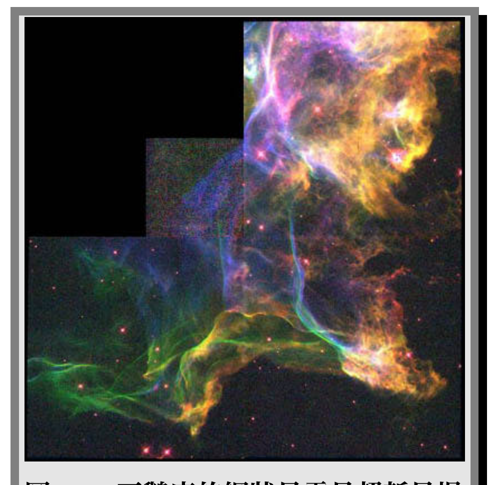


圖 9-4 天鵝座的網狀星雲是超新星爆發的遺跡。

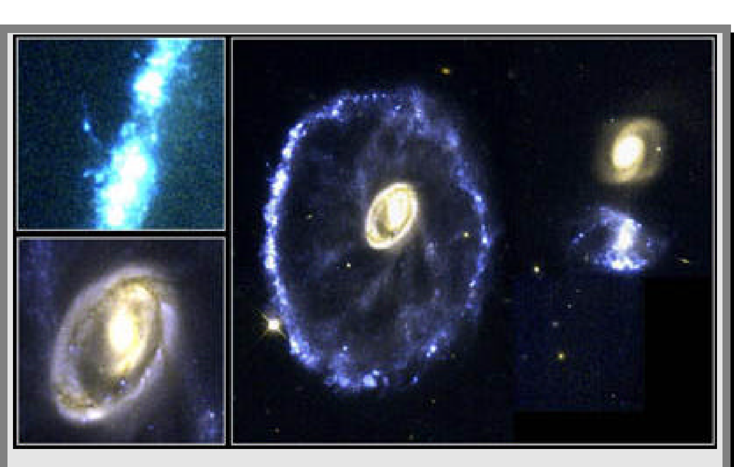


圖 9-5 離地球五億光年的車輪星系 (Cartwheel galaxy)。相信兩個小星系其中一個曾與大星系碰撞，引力導致氣體雲如漣漪般向外擴散，數十億的恆星在此誕生，形成車輪的形狀。

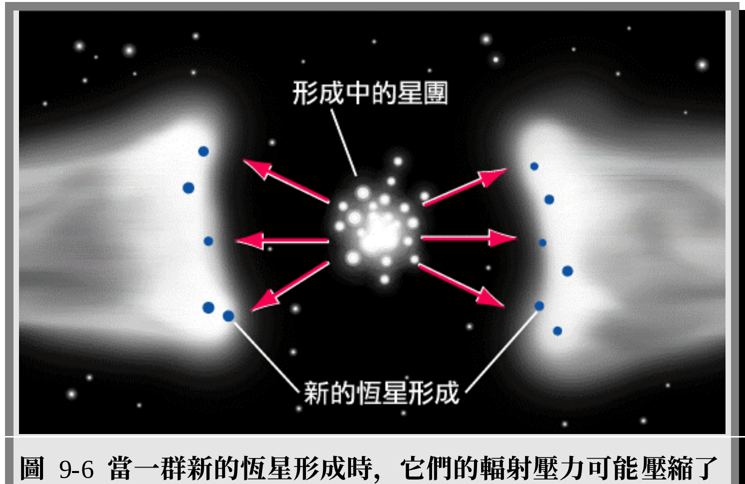


圖 9-6 當一群新的恆星形成時，它們的輻射壓力可能壓縮了周圍的星雲，而觸發另一輪的恆星誕生。



圖 9-7 NCG 4314 是一個旋渦星系，它旋臂上的氣體雲發生碰撞，觸發大量恆星誕生。

- 星雲收縮時變小，物質之間距離越小，萬有引力越強，進一步加速星雲的收縮，而星雲的溫度與壓力亦同時上升
- 巨大星雲收縮時變得不穩定，分裂成很多小塊，並各自形成新的恆星，導致一大群年輕的恆星大約在同一時間誕生
- 原恆星 (Protostar) 是恆星誕生前的初形。氣體雲收縮時逐漸變熱，但核心溫度仍不足以引發核反應。
  - 很多原恆星被繭 (Cocoon) 包圍著。這些氣體與塵埃構成的雲團，吸收了原恆星發出的可見光，再以紅外線輻射出來。
  - 很多年輕原恆星擁有碟狀的原始行星盤 (Protoplanetary disk)，裏面的氣體和塵埃最後可能演化成行星系統
  - 原恆星的體積大 (光亮) 但溫度低，因此在赫羅圖的右上方

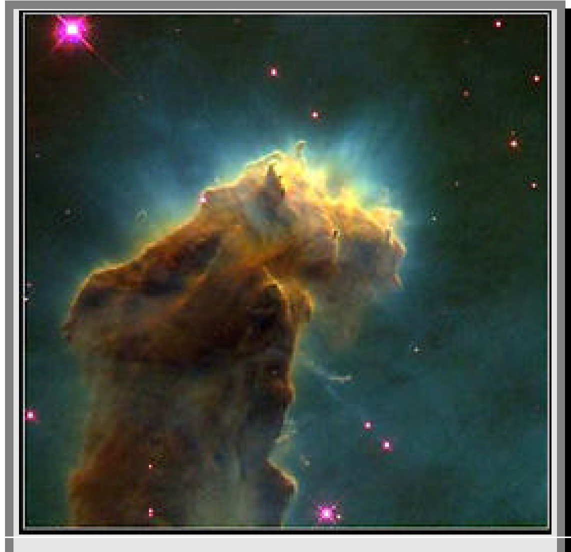


圖 9-8 哈勃望遠鏡攝得在 M16 鷹狀星雲內的黑暗星雲 (氫分子雲)。新形成的恆星隱藏在星雲頂端指尖狀的氣體雲內。這些指尖狀結構比我們的太陽系大一些。

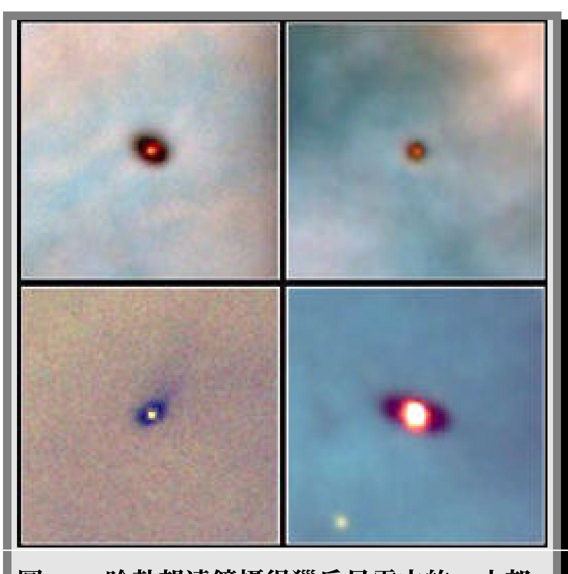


圖 9-9 哈勃望遠鏡攝得獵戶星雲中的一小部份。圖中四個圍繞著年輕恆星的原始恆星盤是由氣體與塵埃構成的，它們最終可能演化成行星系統。

- 當原恆星越來越熱，發出的輻射足以蒸發並驅散繭，便可以看見恆星的表面
  - 所謂金牛座 T 型變星 (T Tauri star) 相信是一些被膨脹氣體雲團包圍著的年輕恆星，光度不規則地快速改變。
- 原恆星核心的溫度足夠高 (超過一千萬度)，便引發核聚變 (Nuclear fusion)，產生能量
  - 恆星的溫度進一步急速上升，氣體的壓力上升，膨脹抵銷重力的塌縮作用，氣體停止收縮
  - 形成穩定的主序星 (Main-sequence star)，出現在赫羅圖的主星序 (Main sequence) 上，即赫羅圖由左上角伸延至右下角的帶狀區域內
  - 引力與氣體壓力互相抵銷，恆星長期處於平衡狀態

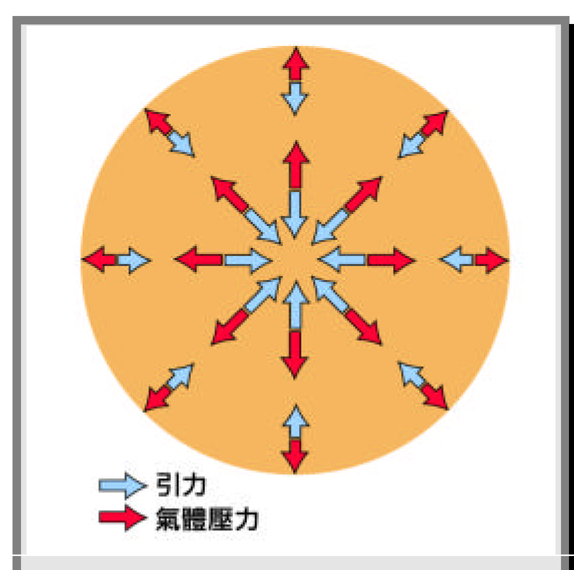


圖 9-10 在主星序上的恆星穩定地燃燒氫燃料，內部熱氣體向外膨脹的壓力 (紅色箭嘴) 抵銷了向內塌縮的重力 (藍色箭嘴)，恆星因而保持穩定。注意恆星內部的壓力比表面大。

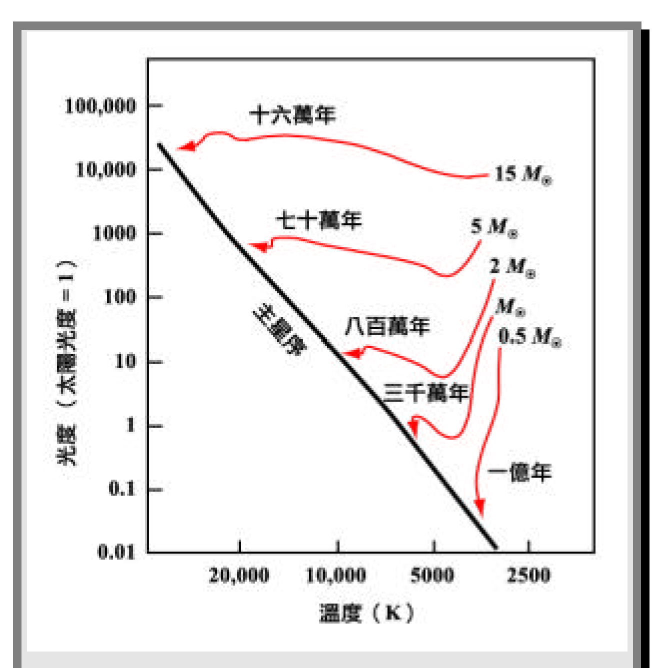


圖 9-11 不同質量的原恆星進入赫羅圖主星序的路徑。原恆星的質量越大，重力越強，收縮也越快。一顆一個太陽質量的恆星需要三千萬年才能到達主星序。

9.3 恆星的能量

- 主序星靠核聚變產生能量，燃料是氫。一連串核反應把四顆質子 (氫原子的原子核是一顆質子) 聚合成一顆氦 (helium) 原子核

$$4\text{ 顆質子} \rightarrow 1\text{ 顆氦原子核} + 2\text{ 顆正電子} + 2\text{ 顆中微子} + \text{能量}$$

  - 四顆質子加起來的質量比一顆氦原子核大，根據 $E = mc^2$，部份物質轉變成能量
  - 核聚變的速度對溫度十分敏感，溫度升高，核聚變速度便急劇加快

  - 能量以高能電磁波 (伽瑪射線) 釋放
  - 正電子 (Positron)：與電子十分相似，但帶正電荷的粒子，最後亦會變成能量
  - 中微子 (Neutrino)：很輕的中性粒子，很難與其他物質發生相互作用
- 主序星核心產生的能量透過輻射與對流緩慢地傳到表面
- 主序星核心好像有一個壓力—溫度「恆溫器」控制能量產生的速度：
  - 如果核聚變慢下來，產生的能量減少，溫度便下降，氣體壓力減弱，引力戰勝氣體壓力，使恆星收縮，收縮的壓力加熱核心，又會重新增加核聚變的速度
  - 相反如果核聚變太快，產生的能量增加，溫度上升，氣體壓力加強，氣體壓力戰勝引力，使星核膨脹，膨脹使核心溫度下降，又會降低核聚變的速度
- 因此主序星十分穩定 (一顆一個太陽質量的主序星約可以維持 100 億年)。